

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540501

研究課題名(和文)化石証拠に基づく「光スイッチ説」の検証

研究課題名(英文)Verification of 'Light Switch Theory' based on fossil evidences

研究代表者

田中 源吾 (Tanaka, Gengo)

熊本大学・沿岸域環境科学教育研究センター・特別研究員

研究者番号：50437191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：カンブリア紀の生物大進化が眼の誕生とそれによる生存競争の激化によって引き起こされたとする「光スイッチ説」を化石証拠から検証した。その結果、1対のダンベル形の複眼を頭部に有する外見上奇妙な節足動物から現生の鋏角類と相同な中枢神経系を発見した。つまり、カンブリア紀の節足動物は、現生の節足動物と同様に、性能の良い眼をもち、中枢神経系に支配された複雑な行動をとっていたことが推察された。本研究は「光スイッチ説」を支持する結果となった。

研究成果の概要(英文)：Cambrian Macroevolution was caused by intensification of evolution of eye of animals and their survival competition (Light Switch Theory = LST). Here, I was verified from fossil evidence about the LST. As a result, I found a homologous central nervous system with extant chelicerates from an apparently strange arthropoda having a pair of dumbbell-shaped compound eye in the head. Cambrian arthropods, as well as of the extant arthropods, has an eye with high resolution, it also suggested that a complex behavior was achieved by the central nervous system. This research supports the LST.

研究分野：層位・古生物学

 キーワード：カンブリア紀 眼の化石 光スイッチ説 例外的に保存の良い化石 節足動物 脊椎動物 軟体部保存
機能形態

1. 研究開始当初の背景

地球生命史上の一大イベント、「カンブリア紀の生物大進化」の原因について、これまで多くの科学者がその謎に挑んできた。近年、英国の生物学者アンドリュー・パーカー博士は、カンブリア紀(5億2100万年前)になって眼を持つ生物の化石が、初めて爆発的に顕れることに着目した。そして、眼の誕生によって、食う食われるの関係がエスカレーションし、硬い外骨格や棘で身を守るもの、ひれを使ってすばやく泳ぐもの、堆積物中を掘って身を潜めるものなど、多様な外部形態を持つ生物が爆発的に進化した出来事こそが「カンブリア紀の生物大進化」であると指摘した。

確かに化石記録を調べると、カンブリア紀以前のエディアカラ紀には眼を持つものや、硬い殻を持つ生物は発見されていない。しかし、カンブリア紀(5億2100万年前)になると、殻を持つもの、眼を持つ化石が地層中に発見されるようになる。パーカー氏はこの眼の誕生説を「光スイッチ説」と名付けた。その後、オーストラリアのカンブリア紀の地層(5億1500万年前)から、現在の捕食動物に見られるような、多数の個眼が保存された複眼が発見され、カンブリア紀にすでに捕食に適した眼を持った生物がいたことが明らかになった。このように、「光スイッチ説」は、最新の研究成果にも後押しされ、カンブリア紀の生物大進化を説明する最も有力な説として、世界中の研究者に受け入れられている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地球史上最古の眼の化石を研究し、カンブリア紀の生物大進化が眼の誕生によって引き起こされたとする「光スイッチ説」を古生物学の視点から検証することである。2011年、申請者はパーカー氏の「光スイッチ説」の誕生の元となった、中国雲南省のカンブリア紀から産出するチェンジャン動物群(5億2100万年前)の眼について研究する機会に恵まれた。そこで、以下の2つの方法で、チェンジャン化石動物群の眼の研究を行い、カンブリア紀の生物大進化の実態に迫った。

3. 研究の方法

雲南大学の雲南古生物重点実験室に収蔵されている4万点以上のチェンジャン化石群の化石標本を調査し、眼が保存されている標本について着目する。

中国より標本を借用し、日本の研究機関等で高性能デジタルマイクロスコープやX線顕微鏡装置、X線CTスキャン等を用いて標本を精査する。

4. 研究成果

雲南古生物重点実験室に保管されている4万点におよぶチェンジャン動物群の化石のうち、通常では化石として残りにくい複眼が保存されている大付属肢型節足動物の一

種、「アラルコメネウス」に注目し、高解像度の光学顕微鏡観察、マイクロCTスキャン、およびエネルギー分散型蛍光X線分析を用いて、標本の複眼内部の詳細な形態や複眼部分を構成する元素の分析を行った。その結果、複眼を構成する1つ1つの小さな個眼を発見しただけではなく、複眼から伸びる神経や、通常では化石に残らない脳をはじめとした中枢神経系がほぼ完璧に保存されていることも発見した。そしてこの神経系を詳細に調査したところ、眼と前大脳の間には1つの大きな神経網(1次視神経網)と、前大脳に続く4つの神経網が頭部に存在することが確認された。また、中大脳の神経節から大付属肢に神経が伸びていることから、カンブリア紀の節足動物の大付属肢と現存する鋏角類(サンリ、カプトガニの仲間)の鋏角(節足動物の付属肢の一種で餌等を掴むための口器)が共通する祖先に由来すること(相同性)が明らかになった。さらに、今回発見されたアラルコメネウスの中枢神経系の配列様式が、現生する節足動物の中で鋏角類に最も類似していることから、系統樹においてカンブリア紀の大付属肢型の節足動物が鋏角類に位置づけられることが示された。本成果はNature誌に2013年に掲載された。本研究手法は、今後、カンブリア紀前期の節足動物化石を中心とする無脊椎動物化石の視覚や神経系、そして系統関係の考察になくてはならないものになると考えられる。

一方、カンブリア紀の脊椎動物化石(ミロクンミンギア)については、眼は確認できたものの、眼の詳細な形態までは保存されておらず、それ以上の議論は出来なかった。そこで、眼の部分が幾分立体的に保存された約3億年前の魚化石の標本を入手し、脊椎動物の眼はどの程度、細部まで化石として保存されるのかどうかについて調査した。用いた標本は、アメリカ合衆国カンサス州の石炭紀後期の棘魚の一種「アカントーデス」である。詳細な形態分析の結果、通常では化石に残らない眼の軟組織が保存されていることを発見した。具体的には、明暗を識別する桿体細胞に加え、色を識別する錐体細胞も保存されていることから、色鮮やかな環境を見ていたと推察された。また、当該化石魚の眼の網膜部分から、世界最古のユーメラニンが検出された。桿体細胞、錐体細胞、そしてユーメラニンの存在から、アカントーデスの眼がretinomotor activity(錐体細胞が活発な日中と、桿体細胞がより活発な夜中の2つの視覚様式)を持っていたことも解った。本研究成果は、Nature Communications誌に2014年に公表された。この成果は、絶滅した他の脊椎動物の視覚について、更なる情報を引き出せる可能性を秘めている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 22 件)

Gengo Tanaka, Yoshiaki Matsushima and Haruyoshi Maeda, Holocene ostracods from the borehole core at Oppama Park, Yokosuka City, Kanagawa Prefecture, central Japan: Paleoenvironmental analysis and the discovery of a fossil ostracod with three-dimensionally preserved soft parts, *Paleontological Research*, 査読有, vol.16, 2012, pp.1-18.

Gengo Tanaka, Phong Nguyen Duc and Toshifumi Komatsu, A new Lower Devonian leperditicopid arthropod: *Sinoleperditia huyeni* sp. nov. from northern Vietnam, *Paleontological Research*, 査読有, vol.16, 2012, pp.70-73.

Gengo Tanaka, Teruo Ono, Aihua Yuan, Masahiro Ichida and Haruyoshi Maeda, Early Permian ostracods from Mugi County, Gifu Prefecture, central Japan, *Paleontological Research*, 査読有, vol.16, 2012, pp.88-106.

Hajime Naruse, Kazuno Arai, Dan Matsumoto, Hiroki Takahashi, Shota Yamashita, Gengo Tanaka and Masafumi Murayama, Sedimentary features observed in the tsunami deposits at Rikuzentakata City, *Sedimentary Geology*, 査読有, vol.282, 2012, pp.199-215.

Gengo Tanaka, Teruo Ono and Haruyoshi Maeda, A new Lower Devonian leperditicopid arthropod: *Sinoleperditia hamadai* sp. nov., from Fukuji District, Gifu Prefecture, central Japan, *Paleontological Research*, 査読有, vol.16, 2012, pp.260-263.

前田晴良・上田直人・西村智弘・田中源吾・野村真一・松岡廣繁, 高知県佐川地域の奈良谷層から最上部ジュラ系アンモノイドの産出, *地質学雑誌*, 査読有, 118 巻, 2012, pp.741-747.

Gengo Tanaka, Teruo Ono, Tomohiro Nishimura and Haruyoshi Maeda, Middle Permian ostracods from the Akasaka Limestone, Gifu Prefecture, central Japan, *Paleontological Research*, 査読有, vol.16, 2013, pp.289-306.

Toshifumi Komatsu, Yasunari Shigeta, Huyen Dang, Tien Dinh, Takumi Maekawa and Gengo Tanaka, *Crittendenia* (Bivalvia) from the Lower Triassic Olenekian Bec Thuy Formation, An Chau Basin, Northern Vietnam, *Paleontological Research*, 査読有,

vol.17, 2013, pp.1-11.

Gengo Tanaka and Yoshikazu Hasegawa, Miocene ostracods from the Itahana Formation in the Tomioka district, Gunma Prefecture, central Japan: Paleoenvironmental significance and systematics, *Paleontological Research*, 査読有, vol.17, 2013, pp.138-172.

Gengo Tanaka, David Siveter and Mark Williams, A new bivalved arthropod from the Devonian of Japan, *Paleontological Research*, 査読有, vol.17, 2013, pp.236-240.

Gengo Tanaka, Evolution of antennules of cytheroidean ostracods (Crustacea), *Arthropod Structure & Development*, 査読有, vol. 42, 2013, pp.395-405.

Gengo Tanaka, Xianguang Hou, Xiaoya Ma, Gregory Edgecombe and Nicholas Strausfeld, Chelicerate neural ground pattern in a Cambrian 'great appendage' arthropod, *Nature*, 査読有, vol. 502, 2013, pp.364-367.

田中源吾・伊丹美穂・黒澤幸愛・吉岡あゆみ・横田麻莉・新井理菜・出原祐樹・林 広樹, 介形虫化石群からみた群馬県富岡市南西部に分布する中部中新統の特異な岩相の堆積環境, *地質学雑誌*, 査読有, 119 巻, 2013, pp.17-24.

Gengo Tanaka and Yoshikazu Hasegawa, Early Middle Miocene ostracods from 'Kojyakui-sho', Tomioka City, Gunma Prefecture, central Japan, *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, 査読有, no.17, 2013, pp.1-18.

田中源吾・茂木由行・中嶋義明, 群馬県高崎市吉井南方に分布する中新統牛伏層の地質学的考察, 群馬県立自然史博物館研究報告, 査読有, 17 号, 2013, pp.79-86.

田中源吾, 節足動物の眼の機能形態学, 群馬県立自然史博物館研究報告, 査読有, 17 号, 2013, pp.25-48.

Toshifumi Komatsu, Hajime Naruse, Yasunari Shigeta, Reishi Takashima, Takumi Maekawa, Huyen Dang, Tien Dinh, Phong Nguyen, Hung Nguyen, Gengo Tanaka and Masatoshi Sone, Lower Triassic mixed carbonate and siliciclastic setting with Smithian-Spathian anoxic to dysoxic facies, An Chau basin, northeastern Vietnam, *Sedimentary Geology*, 査読有, vol. 300, 2014, pp.28-48.

David Siveter, Gengo Tanaka, Una Farrell, Markus Martin, Derek Siveter and Derek Briggs, Exceptionally preserved 450 million-year-old

Ordovician ostracods with brood care, *Current Biology*, 査読有, vol. 24, 2014, pp.1-6.

Gengo Tanaka, Andrew Parker, Yoshikazu Hasegawa, David Siveter, Ryoichi Yamamoto, Kiyoshi Miyashita, Yuichi Takahashi, Shosuke Ito, Kazumasa Wakamatsu, Takao Mukuda, Marie Matsuura, Ko Tomikawa, Masumi Furutani, Kayo Suzuki and Haruyoshi Maeda, Mineralized rods and cones suggest colour vision in a 300 Myr-old fossil fish, *Nature Communications*, 査読有, vol. 5, 2014, 5920.

小松俊文・前川 匠・重田康成・高橋修・田中源吾・Dang Huyen, 北部ベトナムに分布するナンパンジャン海盆南部の下部三畳系, 化石, 査読有, 96号, 2014, pp.1-2.

²¹ Yasunari Shigeta, Toshifumi Komatsu, Huyen Tran Dang, Takumi Maekawa, Osamu Takahashi, Gengo Tanaka and Yukiyasu Tsutsumi, Introduction, *In*, Y. Shigeta, T. Komatsu, T. Maekawa and D. T. Huyen eds., Olenekian (Early Triassic) stratigraphy and fossil assemblages in northern Vietnam, National Museum of Nature and Science Monographs, 査読有, no.45, 2014, pp.1-3.

²² Gengo Tanaka, Toshifumi Komatsu and Takumi Maekawa Ostracods, *In*, Y. Shigeta, T. Komatsu, T. Maekawa and D. T. Huyen eds., Olenekian (Early Triassic) stratigraphy and fossil assemblages in northern Vietnam: National Museum of Nature and Science Monographs, 査読有, no.45, 2014, pp.271-278.

[学会発表](計 7件)

松島義章・田中源吾, 平潟湾における縄文海進と地形環境の変遷について(予報), 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「ヒト-資源環境系の歴史の変遷に基づく先史人類誌の構築, 2014年度公開研究集会.

田中源吾・逸見泰久・島崎英行, 有明海のナメクジウオ生息地に分布する介形虫群, 日本古生物学会第164回例会.

田中源吾, 光学的古生物学 視覚器官から紐解く古生物の生態, 日本動物学会・九州沖縄植物学会・日本生態学会合同熊本例会.

田中源吾・小松俊文・鶴飼宏明・廣瀬浩司・長谷義隆・河野重範・逸見泰久, 熊本県上天草市の弥勒層群より産出した

介形虫化石, 日本古生物学会 2014 年年会.

田中源吾, 化石から紐解く古生物の視覚とその進化, 日本進化学会 14 回東京大会.

田中源吾, 介形虫類を中心とした節足動物の機能形態学的研究, 日本古生物学会 2014 年年会.

田中源吾・前田晴良・アンドリュー パーカー・デイビッド シベター, 例外的に保存された棘魚の眼の化石, 日本古生物学会 2012 年年会.

[図書](計 0件)

[産業財産権]
出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]
ホームページ等
<http://engan.kumamoto-u.ac.jp/>

http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20131017/

<http://www.kumamoto-u.ac.jp/whatsnew/sizen/20141224>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 源吾 (TANAKA, Gengo)
熊本大学・沿岸域環境科学教育研究センター・特別研究員
研究者番号: 50437191

(2) 研究分担者

前田 晴良 (MAEDA, Haruyoshi)
九州大学・総合研究博物館・教授
研究者番号: 10181588

(3) 連携研究者

該当なし